

Avaliação da influência das propriedades de adesivos e da geometria de laminados de fibra de carbono no comportamento de ensaios de arranque



L. Macedo¹



I. Costa²



J. Barros³

RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido para estudar a ligação entre laminados de fibra de carbono e o betão, com a técnica de reforço de estruturas NSM – ‘*near surface mounted*’. Assim, foi concebido e executado um programa experimental para avaliar a influência do comprimento de amarração, da profundidade de colocação do laminado, da altura da secção transversal do laminado e da utilização de um adesivo com resistência melhorada ao fogo, no comportamento da ligação laminado-betão.

PALAVRAS-CHAVE

Reforço, Laminados inseridos, CFRP, Entalhes, Adesivo, Betão de recobrimento.

¹ Universidade do Minho, Depart. de Engenharia Civil, 4800-058 Guimarães, Portugal. a40481@alunos.uminho.pt

² Universidade do Minho, Depart. de Engenharia Civil, 4800-058 Guimarães, Portugal. a40594@alunos.uminho.pt

³ ISISE, Universidade do Minho, Depart. de Engenharia Civil, 4800-058 Guimarães, Portugal. barros@civil.uminho.pt

1. INTRODUÇÃO

Em comparação com a técnica baseada na colagem de materiais compósitos em faces externas dos elementos a reforçar (externally bonded reinforcement – EBR, [1, 2]), a técnica baseada na introdução de laminados de fibras de carbono (CFRP) em ranhuras abertas no betão de recobrimento (Near surface mounted – NSM, [1, 2]) tem-se revelado mais eficiente, quer para o reforço à flexão ([3 - 5]) como para o reforço ao corte ([6, 7]). De facto, a técnica NSM tem suscitado um crescente interesse da comunidade científica interessada na reabilitação e no reforço do património construído dado apresentar, em comparação com a técnica EBR, as seguintes vantagens:

- mobilização de tensão mais elevada na rotura dos elementos reforçados;
- maior facilidade e rapidez de execução.
- maior protecção às acções agressivas do meio ambiente;
- maior protecção a acções mecânicas e a actos de vandalismo;
- maior protecção à acção de temperaturas elevadas;

A eficácia desta técnica deve-se essencialmente ao comportamento da ligação entre o laminado de CFRP, o adesivo e o betão. Assim, o conhecimento das leis constitutivas que melhor caracterizam esta ligação torna-se imprescindível para a realização de uma simulação numérica e para a determinação do comprimento de amarração necessário para atingir determinada força no laminado.

É neste âmbito que surge o presente trabalho. Assim sendo, pretende-se caracterizar a ligação betão/laminado na aplicação da técnica NSM, verificando a influência:

- do comprimento de amarração (L_b);
- da profundidade a que é inserido o laminado na ranhura (X);
- da altura da secção transversal do laminado;
- e da utilização de um adesivo na ligação laminado/betão com resistência melhorada ao fogo.

Para este efeito existem dois tipos de ensaios experimentais: ensaios de arrancamento em flexão (*beam bending pull out-test* na nomenclatura inglesa, [8]) e ensaios de arrancamento directo (*direct pull out-test* na nomenclatura inglesa, [9]). No presente trabalho optou-se pelos ensaios de arrancamento directo.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental proposto pode ser agrupado nas seguintes etapas:

- realização e preparação dos provetes para a aplicação dos laminados;
- selecção dos adesivos;
- caracterização dos materiais;
- preparação para a aplicação dos laminados de CFRP;
- aplicação dos laminados;
- realização dos ensaios de arranque.

2.1 Realização e preparação dos provetes para a aplicação do laminado de CFRP

Os provetes de betão utilizados no programa experimental apresentam as dimensões de 150×150×600 mm³ com a geometria apresentada na Fig. 1. Aquando da betonagem teve-se o cuidado de garantir o valor de recobrimento pré-estabelecido para assegurar que a realização dos entalhes não danificasse a armadura (Fig. 2). Para este efeito foram utilizados espaçadores plásticos de 25 mm (Fig. 3).

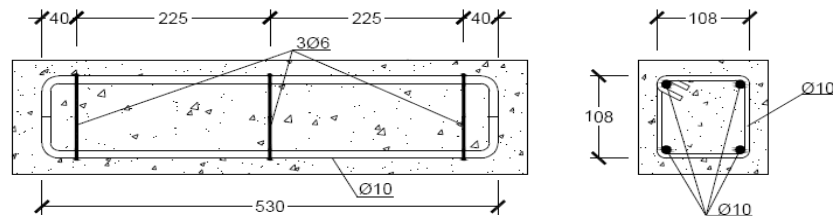


Figura 1. Esquema representativo dos provetes de betão com as armaduras longitudinais e transversais. (dimensões em milímetros)



Figura 2. Fotografia da armadura com os espaçadores

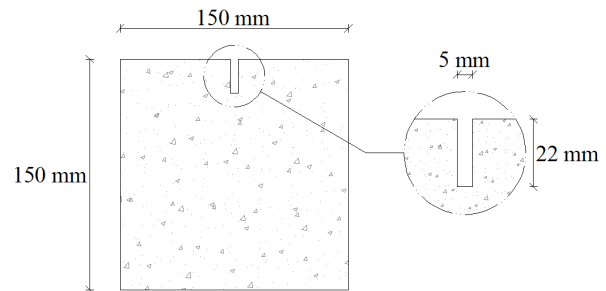


Figura 3. Esquema do entalhe

2.2 Escolha dos adesivos

Os adesivos testados foram os seguintes: ADICRETE EE; Grout ADICRETE ASR; ADICRETE ER; S&P Resin 220. Os três primeiros adesivos foram fornecidos pela Quimidois, enquanto o último foi fornecido pela S&P.

Para a realização destes ensaios fizeram-se pequenos provetes $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$, com os quais se realizaram ensaios de flexão, de compressão, e de avaliação do comportamento sob a acção de temperaturas elevadas. No Quadro 1 apresentam-se os resultados obtidos, de onde se pode verificar que o adesivo que apresentou melhores propriedades mecânicas foi o S&P Resin 220.

Quadro 1. Resultados dos ensaios realizados para a selecção dos adesivos

Adesivo	Tensão máxima de flexão	Tensão máxima de compressão
	[MPa]	[MPa]
ADICRETE EE	12,7	41,8
ADICRETE ER	16,7	66,6
ADICRETE ASR	9,1	63,2
S&P Resin 220	36,6	87,3

Para avaliar o comportamento dos adesivos sob temperaturas elevadas, todos os adesivos foram submetidos à temperatura máxima de 500°C durante 20 minutos, encontrando-se na Fig. 4 o aspecto dos provetes horas após os ensaios terem terminado. Verificou-se que o Grout ASR foi o único adesivo que não perdeu integralmente as suas propriedades mecânicas depois de ter sido submetido a 500°C.



Figura 3. Aspecto dos adesivos depois de serem submetidos a uma temperatura máxima de 500°C

Assim, os adesivos S&P Resin 220 e o Grout ASR da Quimidois foram os seleccionados, o primeiro por apresentar melhores características mecânicas e o segundo por apresentar melhores resultados sob temperatura elevada.

2.3 Caracterização dos materiais

O betão utilizado na realização dos provetes foi fornecido pela UniBetão. A caracterização do betão realizou-se aos 28 dias de idade deste material, tendo-se efectuado ensaios de compressão uniaxial com dois provetes cilíndricos com uma altura, h , de 300mm e um diâmetro, d , de 150mm. Os ensaios foram realizados numa máquina de ensaio universal, sob o controlo de força, a uma variação de tensão de 0,5 MPa/s, tendo-se obtido uma tensão média de 25,03 MPa.

Os laminados da S&P utilizados nos ensaios realizados são constituídos por fibras de carbono orientadas unidireccionalmente, aglutinadas por uma epoxy. Estes laminados são fornecidos em rolos de 150m e posteriormente cortados com o comprimento pretendido.

As principais características do laminado de secção $1,4 \times 10 \text{ mm}^2$ fornecidas pelo fabricante encontram-se no Quadro 2. Assim como os resultados obtidos em ensaios com provetes extraídos de um rolo fornecido pelo mesmo fabricante [5].

Quadro 2. Resumo das principais propriedades dos laminados secção $1,4 \times 10 \text{ mm}^2$

<i>Propriedade</i>	<i>Fornecedor</i>	<i>Laboratório</i>
Largura do compósito [mm]	10	9,56
Espessura do compósito [mm]	1,4	1,45
Valor característico da resistência à tracção [MPa]	>2000	2879
Valor característico do módulo de elasticidade [GPa]	>150	156,1
Extensão última à tracção [%]	1,4	1,85

No Quadro 3 são apresentadas as principais características do laminado de secção $1,4 \times 20 \text{ mm}^2$ fornecidas pelo fabricante.

Quadro 3. Resumo das principais propriedades dos laminados secção $1,4 \times 20 \text{ mm}^2$, fornecidas pelo fornecedor

<i>Propriedade</i>	<i>Fornecedor</i>
Largura do compósito [mm]	20
Espessura do compósito [mm]	1,4
Valor característico da resistência à tracção [MPa]	1850
Valor característico do módulo de elasticidade [GPa]	165
Extensão última à tracção [%]	11,6

No Quadro 4 são apresentadas as principais propriedades do adesivo Resin 220 da S&P sedidas pelo fornecedor.

Quadro 4. Resumo das principais propriedades do adesivo S&P Resin 220 sedidas pelo fornecedor

<i>Propriedade</i>	<i>S&P 220 Resin</i>
Resistência à Tracção [MPa]	> 30
Resistência à Compressão [MPa]	> 90
Aderência aos Laminados de CFK [MPa]	> 3
Aderência ao Betão [MPa]	> 3
Duração Prática de Utilização (Pot life) [mm]	60
Razão em Peso	4:1

Devido a dificuldades encontradas nos sistemas de fixação dos laminados nas amarras do equipamento, os ensaios de tracção uniaxial dos laminados ainda não foram devidamente sucedidos.

2.4 Preparação e aplicação dos laminados de CFRP

A preparação para a aplicação dos laminados nos entalhes dos provetes de betão consiste nas seguintes etapas: limpeza dos entalhes; marcação do comprimento de amarração dos provetes de betão; preparação dos laminados (limpeza e aplicação das protecções); preparação do adesivo;

Após a preparação do adesivo procedeu-se à colagem dos laminados. Para que o adesivo fosse aplicado em condições adequadas teve-se em atenção o *pot-life* (duração prática de utilização). O entalhe foi preenchido com adesivo no comprimento de amarração pretendido, sendo de seguida o laminado inserido no entalhe, de forma lenta e gradual até à profundidade pretendida. Finalmente, o adesivo em excesso foi removido, apresentando os provetes o aspecto final mostrado na Fig. 4.



Figura 4. Aspecto dos provetes após a aplicação dos laminados

2.6 Realização do ensaio

2.6.1 Séries

Na realização deste programa experimental utilizaram-se diferentes séries para cada aplicação dos vários materiais. Cada série corresponde à variação do comprimento de amarração L_b . Na aplicação do adesivo S&P Resin 220 com o laminado de secção $1.4 \times 10 \text{ mm}^2$ foram realizadas as seguintes séries: $L_b = 40 \text{ mm}$, $L_b = 70 \text{ mm}$, $L_b = 90 \text{ mm}$, $L_b = 120 \text{ mm}$ e $L_b = 150 \text{ mm}$ e, em cada série, fez-se variar a profundidade de colocação do laminado: $X = 0 \text{ mm}$, $X = 6 \text{ mm}$ e $X = 12 \text{ mm}$, ver Fig. 5 (a), (b) e (c) respectivamente.

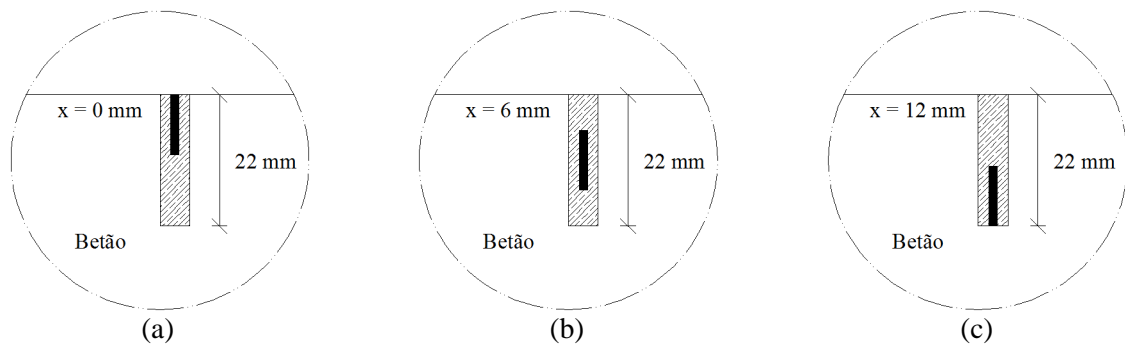


Figura 5. Disposição dos laminados em profundidade no entalhe: a) $X = 0$ mm; b) $X = 6$ mm; c) $X = 12$ mm

No caso da aplicação do adesivo S&P Resin 220 com o laminado de secção $1,4 \times 20 \text{ mm}^2$ foram realizadas as seguintes séries: $L_b = 50$ mm, $L_b = 70$ mm e $L_b = 90$ mm, com o laminado colocado sempre à superfície do entalhe ($X = 0$ mm).

Relativamente ao Grout ASR foi realizada apenas uma série, tendo-se utilizado o laminado de secção $1,4 \times 10 \text{ mm}^2$, uma vez que, após a realização de alguns ensaios se verificou que a carga máxima atingida foi de 2,16 kN. O baixo desempenho deste adesivo pode, provavelmente, estar relacionado com a sua fraca resistência à tracção e ao corte ou com a retracção do adesivo, visto tratar-se de um adesivo de matriz cimentícia.

2.6.2 Configuração do ensaio

Para garantir o equilíbrio do provete durante a execução do ensaio, o provete é fixo à estrutura de reacção através dos apoios A, B, C e D, apoiando-se ainda num suporte hidráulico, tal como representado na Fig. 6. Este último tem ainda a função de facilitar o ajuste do posicionamento vertical do provete. A este ensaio é correntemente atribuída a designação de “ensaio de arranque directo” (“direct pull out test”, na bibliografia inglesa).

Ao longo do comprimento de amarração (L_b) e a uma certa profundidade X , o laminado encontra-se ligado ao betão por intermédio do adesivo. Através de uma amarra mecânica fixa ao actuador aplica-se uma força F na extremidade superior do laminado. A força F aplicada foi avaliada com a ajuda de uma célula com capacidade máxima de 200 kN, colocada entre a amarra e o actuador. O ensaio foi controlado por intermédio da imposição de uma velocidade de $5 \text{ } \mu\text{m/s}$ num transdutor de deslocamento (LVDT3, ver Fig. 7) fixo no actuador.

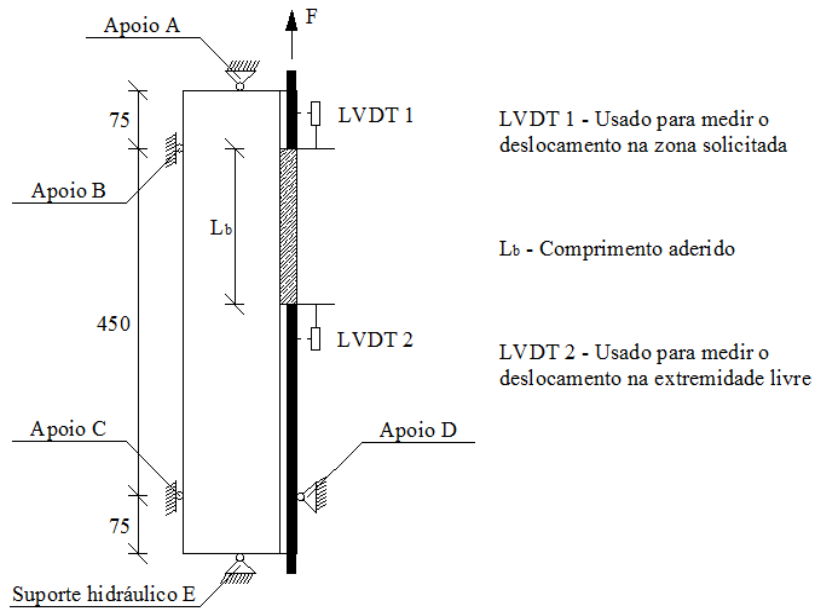


Figura 6. Esquema com o provete e a instrumentação utilizada

Para monitorização do ensaio utilizaram-se três LVDTs, ver Fig. 7, dois para leitura dos deslocamentos em pontos estratégicos, e um para o controlo do ensaio. O LVDT1 tinha como objectivo fornecer os deslocamentos na zona solicitada do laminado, o LVDT2 tinha como função fornecer os deslocamentos ocorridos na extremidade livre do laminado, enquanto o LVDT3 foi utilizado para controlo do ensaio.

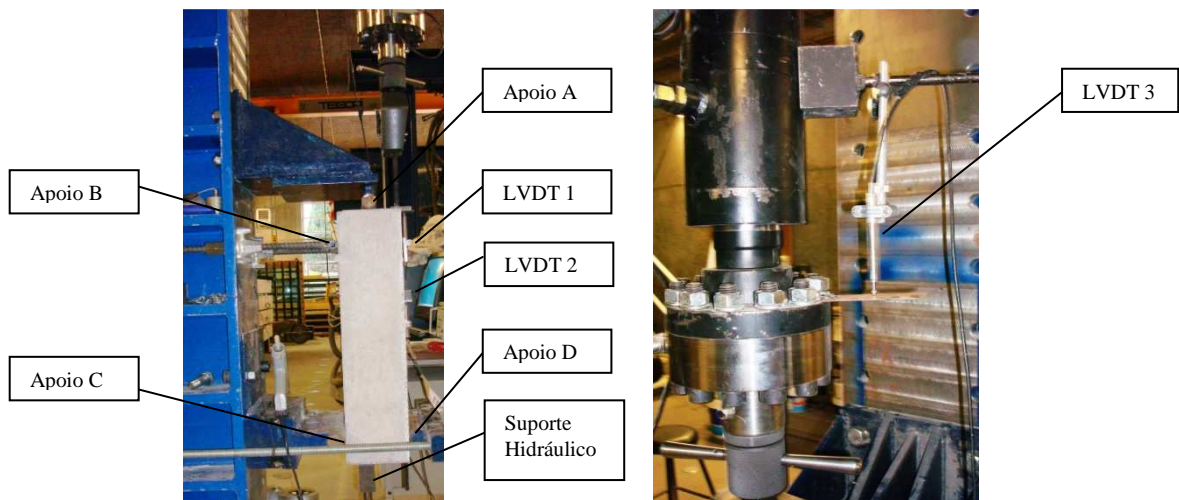


Figura 7. Fotografias do ensaio com identificação dos apoios e LVDT's

É importante referir que, após uma observação atenta do esquema de ensaio chegou-se à conclusão que o local onde o LVDT1 foi colocado não é o mais correcto, pois foi fixo ao betão na zona onde este é solicitado. Devido à existência de deformações no betão que podem, em certos casos, não ser desprezáveis, e os deslocamentos lidos por este LVDT, para além de medirem o deslizamento do laminado em relação ao betão envolvente, incluem a própria deformação do betão.

3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nos Quadros 5, 6 e 7 são apresentados os resultados correspondentes aos seguintes parâmetros:

- L_b [mm] – é o valor do comprimento de ancoragem do laminado de CFRP ao betão;
- X [mm] – é a profundidade de colocação do laminado no entalhe, onde $X=0$ corresponde à colocação do laminado à superfície do entalhe, $X=6$ corresponde à colocação do laminado a meio do entalhe e $X=12$ corresponde à colocação do laminado na profundidade máxima;
- F_{pic} [kN] – força máxima atingida durante o ensaio;
- $P_{máx}/P_u$ [%] – corresponde à percentagem de resistência à tracção do laminado solicitada, onde $P_{máx}$ é o valor de carga máxima atingida durante o ensaio e P_u é o valor de carga última do laminado;
- $\tau_{bméd}$ [MPa] – valor máximo da tensão média de deslizamento desenvolvida entre o laminado e o betão. Onde $\tau_{bméd}$ é o quociente entre F_{pic} e a área de contacto do laminado com o adesivo;
- $S_{l,pic}$ [mm] – valor do deslocamento medido na zona solicitada, correspondente à força máxima;
- $S_{f,pic}$ [mm] – valor do deslocamento medido na zona livre, correspondente à força máxima;
- Área de contacto – como o próprio nome indica corresponde à soma das áreas de laminado em contacto com o adesivo com excepção da área da face superior do laminado, pois esta não está em contacto com o betão ($L_b \times (H \times 2 + a)$), ver Fig.8.
- Modos de Rotura – Na aplicação do laminado de secção $1,4 \times 10 \text{ mm}^2$ com o adesivo S&P, ocorreram dois modos de rotura. Para os comprimentos de amarração mais pequenos (40, 70 e 90 mm), a rotura ocorreu com a combinação de dois mecanismos: rompimento da ligação entre o laminado e o adesivo e ocorrência de fendas no betão adjacente ao entalhe. Estas fendas surgiram no início da ancoragem da zona livre, com inclinações entre os 45° e 55° com o eixo axial do laminado [DL-F] Fig. 9 (c). Para os comprimentos de amarração superiores (90, 120 e 150 mm) a rotura ocorreu sempre no laminado [L] Fig.9 (b).

No caso da aplicação do laminado de secção $1,4 \times 20 \text{ mm}^2$ com o adesivo S&P também se verificaram dois modos de rotura. Para o comprimento de amarração mais pequeno (50mm) o modo de rotura foi igual ao ocorrido para os comprimentos de amarração mais pequenos da aplicação anterior [DL-F] Fig. 9 (c). Para os comprimentos de amarração de 70 e 90mm a rotura ocorreu devido ao destacamento do betão [DB] Fig. 9 (a).

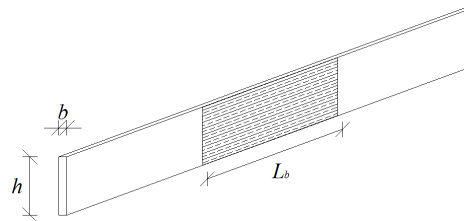


Figura 8. Esquema da área de contacto



(a) – [DB]



(b) – [L]



(c) – [DL-F]

Figura 9 .Modos de rotura

Quadro 5. Resultados da aplicação do adesivo S&P com o laminado de secção 1,4×10 mm²

<i>Provete</i>	<i>L_b</i> [mm]	<i>X</i> [mm]	<i>F_{pic}</i> [KN]	<i>P_{máx}/P_u</i> [%]	<i>S_{l, pic}</i> [mm]	<i>S_{f, pic}</i> [mm]	<i>τ_{méd}</i> [Mpa]	<i>Área</i> [mm ²]	<i>Modo de Rotura</i>
Lb40X12_a	40	12	19,93	49,45	1,09	0,17	23,28	856	[DL – F]
Lb40X12_b	40	12	19,81	49,15	0,84	0,11	23,14	856	[DL – F]
Lb70X12_a	70	12	31,43	77,98	1,73	0,1	20,98	1498	[DL – F]
Lb70X12_b	70	12	29,4	72,94	1,53	0,49	19,63	1498	[DL – F]
Lb90X12_a	90	12	37,32	92,59	2,11	0,08	19,38	1926	[L]
Lb90X12_b	90	12	34,61	85,87	1,93	0,04	17,97	1926	[L]
Lb120X12_a	120	12	37,95	94,15	2,18	0,04	14,78	2568	[L]
Lb120X12_b	120	12	0	0,00	0	0	0,00	2568	[L]
Lb150X12_a	150	12	0	0,00	0	0	0,00	3210	[L]
Lb150X12_b	150	12	38,39	95,25	2,17	0,01	11,96	3210	[L]
Lb40X6_a	40	6	18,58	46,10	1,1	0,11	21,71	856	[DL – F]
Lb40X6_b	40	6	18,59	46,12	1,22	0,11	21,72	856	[DL – F]
Lb70X6_a	70	6	27,7	68,72	1,9	0,17	18,49	1498	[DL – F]
Lb70X6_b	70	6	26,74	66,34	1,29	0,12	17,85	1498	[DL – F]
Lb90X6_a	90	6	34,38	85,30	2,08	0,1	17,85	1926	[L]
Lb90X6_b	90	6	33,5	83,11	2,04	0,08	17,39	1926	[L]
Lb120X6_a	120	6	36,15	89,69	2	0,02	14,08	2568	[L]
Lb120X6_b	120	6	34,26	85,00	2,01	0,01	13,34	2568	[L]
Lb150X6_a	150	6	26,59	65,97	1,94	0,01	8,28	3210	[L]
Lb150X6_b	150	6	36,47	90,48	2,28	0,01	11,36	3210	[L]
Lb90X0_a	90	0	27,92	69,27	1,77	0,13	14,50	1926	[DL – F]
Lb90X0_b	90	0	27,8	68,97	1,7	0,05	14,43	1926	[DL – F]
Lb120X0_a	120	0	33,78	83,81	2,3	0,08	13,15	2568	[L]
Lb120X0_b	120	0	35,39	87,80	2,3	0,02	13,78	2568	[L]
Lb150X0_a	150	0	37,29	92,52	3,16	0,15	11,62	3210	[L]
Lb150X0_b	150	0	32,05	79,52	2,65	0,03	9,98	3210	[L]

[L] – Corresponde à rotura do laminado;

[DL] – Corresponde à rotura por deslizamento, devido ao rompimento da ligação entre o laminado e o adesivo;

[F] – Corresponde ao aparecimento de fendas no início da ancoragem da zona livre;

Quadro 6. Resultados da aplicação do adesivo S&P com o laminado de secção 1,4×20 mm²

<i>Provete</i>	<i>L_b</i> [mm]	<i>F_{pic}</i> [KN]	<i>P_{máx}/P_u</i> [%]	<i>S_{b, pic}</i> [mm]	<i>S_{f, pic}</i> [mm]	<i>τ_{méd}</i> [Mpa]	<i>Área de Contacto</i> [mm ²]	<i>Modo de Rotura</i>
Lb50X0_a	50	31,27	60,37	1,07	0,14	15,11	2070	[DL – F]
Lb50X0_b	50	31,55	60,91	1,17	0,12	15,24	2070	[DL – F]
Lb70X0_a	70	36,53	70,52	1,15	0,08	12,61	2898	[DB]
Lb70X0_b	70	34,58	66,76	1,04	0,14	11,93	2898	[DB]
Lb90X0_a	90	42	81,08	1,4	0,01	11,27	3726	[DB]
Lb90X0_b	90	41,7	80,50	1,2	0,12	11,19	3726	[DB]

[DL] – Corresponde à rotura por deslizamento, devido ao rompimento da ligação entre o laminado e o adesivo;

[F] – Corresponde ao aparecimento de fendas no início da ancoragem da zona livre;

[DB] – Destacamento do betão no momento da rotura;

Avaliação da influência das propriedades de adesivos e da geometria de laminados de fibra de carbono no comportamento de ensaios de arranque

Quadro 7. Resultados da aplicação do Grout com o laminado de secção $1,4 \times 10 \text{ mm}^2$

<i>Provete</i>	L_b [mm]	X [mm]	F_{pic} [kN]	$P_{máx}/P_u$ [%]	Sl_{pic} [mm]	$S_{f_{pic}}$ [mm]	$\tau_{méd}$ [Mpa]	Área de Contacto [mm ²]	Modo de Rotura
Lb150X0_a	150	0	1,57	3,89	0,29	0,003	0,49	3210	[DL]
Lb150X6_a	150	6	2,16	5,36	0,4	0,017	0,67	3210	[DL]

[DL] – Corresponde à rotura por deslizamento, devido ao rompimento da ligação entre o laminado e o adesivo;

Da análise do Quadro 5 é possível verificar que no caso da aplicação de adesivo S&P com o laminado de $1,4 \times 10 \text{ mm}^2$ para comprimentos de amarração iguais ou superiores a 90mm a rotura ocorre pelo laminado e que o valor de F_{pic} (e consequentemente o valor de $\tau_{méd}$) aumentou com o aumento da profundidade de colocação do laminado. E como era esperado nos casos onde a rotura ocorre por deslizamento, a carga de pico aumentou com o aumento do comprimento de amarração. De salientar que os presentes ensaios de arranque directo, para séries como o mesmo comprimento de amarração (L_b), proporcionaram valores de $\tau_{méd}$ similares aos registados em ensaios de flexão [10]. No entanto nos ensaios de arranque directos os valores $S_{f_{pic}}$, são significativamente superiores aos registados nos ensaios de flexão, o que pode ser justificado pelo facto, já anteriormente reportado, de nos ensaios de arranque directo o LVDT registar não só o deslizamento do laminado, mas também a deformação do betão na zona de suporte do LVDT.

No caso da aplicação apresentada no Quadro 6, verifica-se que para comprimentos de amarração iguais ou superiores a 70mm a rotura acontece com o destacamento do betão, o que é indicativo de que caso a qualidade do betão a ser reforçado não seja suficiente, o potencial reforço com o laminado de $1,4 \times 20 \text{ mm}^2$, não chega a ser totalmente mobilizado. No entanto tendo em conta que a F_{pic} aumentou com o aumento da profundidade de colocação do laminado no entalhe, registado nas séries com o laminado de $1,4 \times 10 \text{ mm}^2$ (Quadro 5), parece ser possível, para um determinado comprimento de amarração L_b , mobilizar a resistência à tracção do laminado $1,4 \times 20 \text{ mm}^2$ desde que seja possível colocá-lo no entalhe à profundidade apropriada. Todavia, esta profundidade pode estar limitada pela espessura do betão de recobrimento das peças a reforçar, a não ser que sejam tomadas medidas especiais para permitir cortar o ramo inferior dos estribos das peças a reforçar, caso estudado noutra publicação [10].

Finalmente é de salientar a pouca eficácia do adesivo de matriz cimentícia, dado ocorrer prematuramente rotura por deslizamento na interface laminado-adesivo, em consequência da fraca ligação entre estes materiais.

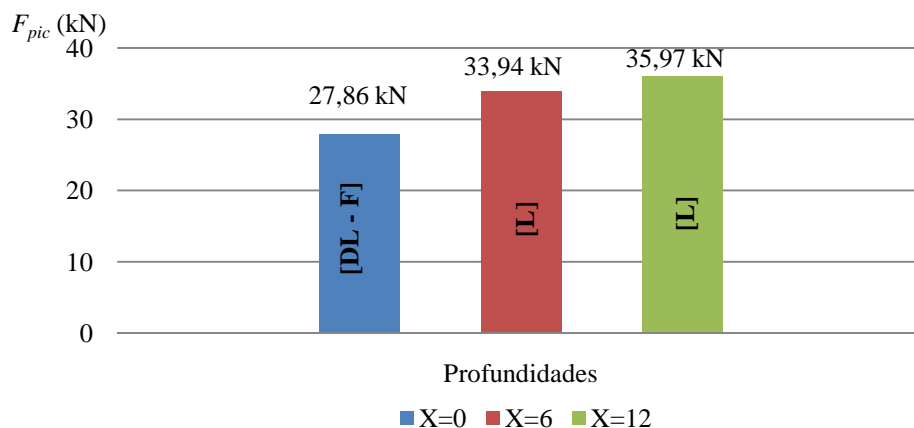


Figura 6. Influência da profundidade de colocação do laminado na resistência ao arranque de laminados de $1,4 \times 10 \text{ mm}^2$ fixos ao betão com adesivo S&P ($L_b = 90 \text{ mm}$)

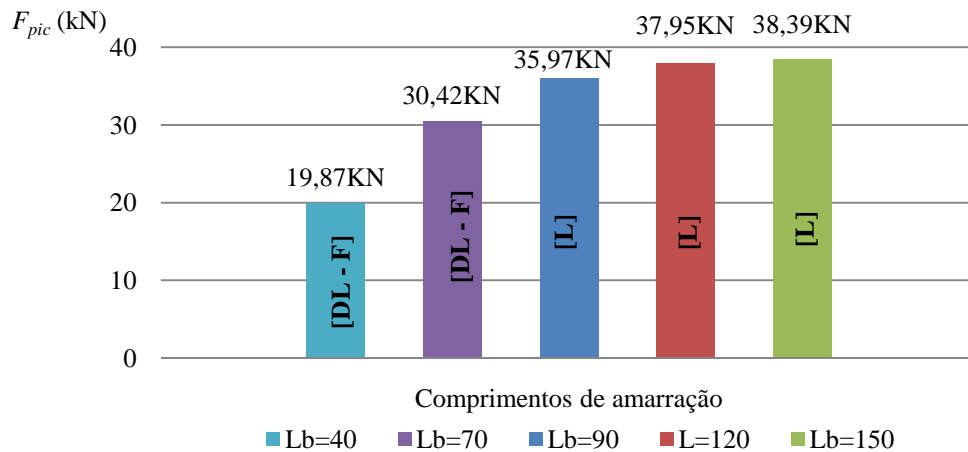


Figura 7. Influência do comprimento de amarração na resistência ao arranque de laminados de $1,4 \times 10 \text{ mm}^2$, quando $X = 12 \text{ mm}$, e fixos ao betão por intermédio de adesivo S&P

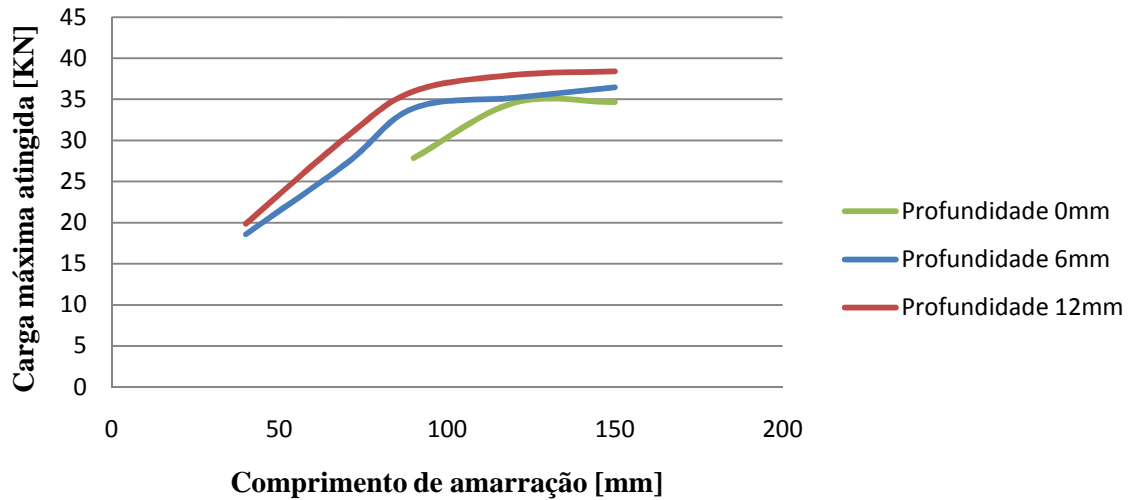


Figura 8. Comprimento de amarração vs Carga máxima, na aplicação do lamindo com secção $1,4 \times 10 \text{ mm}^2$

4. CONCLUSÕES

Da análise dos resultados da aplicação do adesivo S&P Resin 220 com o laminado de secção transversal $1,4 \times 10 \text{ mm}^2$ é possível concluir que:

- para comprimentos de amarração superiores (L_b) a 90 mm a rotura ocorre pelo laminado, ou seja, o comprimento de amarração é suficiente para ancorar a força aplicada;
- a profundidade de colocação do laminado, bem como o comprimento de amarração influenciam o valor de carga máxima alcançada. Com o aumento da profundidade de colocação ou do comprimento de amarração há um aumento do valor da carga máxima;
- com o aumento do valor de comprimento de amarração o valor de τ_{bmed} diminui, e com o aumento da profundidade de colocação o valor de τ_{bmed} aumenta;
- com aumento do comprimento de amarração até 90 mm houve um aumento do valor de $S_{l,pic}$ (deslizamento correspondente à carga de pico). Acima de $L_b = 90 \text{ mm}$ a rotura ocorreu pelo laminado.

Com a aplicação do adesivo S&P com o laminado de secção $1,4 \times 20 \text{ mm}^2$ é possível concluir que:

- o deslizamento ocorreu apenas para $L_b = 50 \text{ mm}$. Para comprimentos de amarração superiores a rotura ocorreu sempre pelo betão;

- com o aumento do comprimento de amarração ocorreu um aumento do valor de carga máxima, tal como na aplicação anterior, apesar do modo de rotura para $L_b=70\text{mm}$ e $L_b=90\text{mm}$ ter sido pelo betão;
- os valores de carga máxima atingidos foram superiores aos da aplicação anterior.

Relativamente à aplicação do Grout ASR com o laminado de secção $1,4 \times 10 \text{ mm}^2$ conclui-se que esta aplicação terá que sofrer algumas alterações, uma vez que a carga máxima atingida nesta aplicação foi apenas de 2,16KN.

No que diz respeito à configuração de ensaio verificou-se que o local de fixação do LVDT1 não foi o mais adequado pois, para além de ter medido o deslizamento do laminado também registou a deformação ocorrida pelo betão, nessa zona, o que influenciou os valores finais registados por esse LVDT.

5. AGRADECIMENTOS

Os Autores agradecem o apoio concedido ao abrigo do projecto “SmartReinforcement – Carbon fibre laminates for the strengthening and monitoring of reinforced concrete structures”, ADI-IDEIA, projecto nº 13-05-04-FDR-00031, bem como os materiais fornecidos pela S&P e Quimidois, e a colaboração da Prêgaia na montagem das armaduras dos provetes.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] American Concrete Institute, Committee 440 (ACI440, 2002), “440.2R-02: Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures,” *440.2R-02 Design Standards*, Detroit, MI, 45 pp.
- [2] *fib* Task Group 9.3, 2001, “Externally bonded FRP reinforcement for RC Structures.” *fib Bulletin* 14, Lausanne, Switzerland.
- [3] **Barros, J.A.O.**, Fortes, A.S., “Flexural strengthening of concrete beams with CFRP laminates bonded into slits”, *Journal Cement and Concrete Composites*, 27(4) p. 471-480, 2005.
- [4] **Barros, J.A.O.**; Dias, S.J.E.; Lima, J.L.T., “Efficacy of CFRP-based techniques for the flexural and shear strengthening of concrete beams”, *Journal Cement and Concrete Composites*, 29(3), 203-217, March 2007.
- [5] Bonaldo, E.; **Barros, J.A.O.**, Lourenço, P.J.B., “Efficient strengthening technique to increase the flexural resistance of existing RC slabs”, *Journal of Composites for Construction* 12(2), 149-159, March/April 2008.
- [6] Dias, S.J.E.; **Barros, J.A.O.**, “Shear strengthening of T cross section reinforced concrete beams by near surface mounted technique”, *Journal Composites for Construction*, 12(3), 300-311, Maio/Junho, 2008.
- [7] **Barros, J.A.O.**; Dias, S.J.E., “Near surface mounted CFRP laminates for shear strengthening of concrete beams”, *Journal Cement and Concrete Composites*, Vol. 28, N. 3, pp. 276-292, March 2006.
- [8] Sena-Cruz, J.M.; **Barros, J.A.O.**, “Bond between near-surface mounted CFRP laminate strips and concrete in structural strengthening”, *Journal of Composites for Construction*, 8(6), p. 519-527, 2004.
- [9] De Lorenzis, L. (2002). “Strengthening of RC structures with near-surface mounted FRP rods.” *PhD Thesis*, University of Lecce, Italy.
- [10] **Barros, J.A.O.**; Kotynia, R., “Possibilities and challenges of NSM for the flexural strengthening of RC structures”, Fourth International Conference on FRP Composites in Civil Engineering (CICE2008), Zurich, Switzerland, 22-24July 2008.